

# 自動車ネットワークにおける 物体認識率を考慮した輻輳制御手法の検討

山崎 玲<sup>1,a)</sup> 國部 匡志<sup>1,b)</sup> 村川 太一<sup>1,c)</sup> 重野 寛<sup>2,d)</sup>

**概要:** 近年、事故防止等を目的とした車両の情報共有のために、V2X 通信と呼ばれる自動車の通信が検討されている。V2X 通信では、大量のメッセージ交換による輻輳が課題となるため、輻輳制御手法が盛んに研究されている。特に、欧州の標準化機構により標準化された DCC (Decentralized Congestion Control) は、本分野におけるベースとなる手法である。しかし、DCC では多くの種類のメッセージの優先度に関して考慮していないため、重要なメッセージの送信頻度が低下するという課題がある。本稿では、センシング情報を送信するメッセージである CPM (Collective Perception Message) に着目する。CPM の送信頻度が低下した場合、各車両の物体認識率が低下することで安全性に問題が生じることが予想される。そこで、CPM の優先度を状況に応じて調整することにより、物体認識率を向上させる輻輳制御手法を検討する。

## 1. はじめに

近年、自動運転車が交通の安全性を向上させることが期待されている。自動運転車は、自身のセンサや V2X (Vehicle-to-Everything) 通信によって周辺環境を認識する。周辺環境の認識のために、自車両の情報を送信する CAM (Cooperative Awareness Message) や緊急事態発生時に通知を行う DENM (Decentralized Environment Notification Message)、センシングした周辺情報を送信する CPM (Collective Perception Message) 等の様々なメッセージの使用が検討されている。しかし、メッセージ交換を試みる車両台数が増加すると輻輳が発生し、メッセージ交換に失敗する機会が増加する。メッセージ交換に失敗した場合、自車両のセンサで検知できない情報を入手することができないため、死角からの飛び出しによる交通事故の発生や協調走行が困難になるといった課題が存在する。

近年、自動車ネットワークにおける輻輳の防止を目的として、メッセージ送信機会を低減する輻輳制御手法が数多く提案されている。特に、欧州で標準化された DCC (Decentralized Congestion Control) は多くの手法の先行

研究となっている。DCC は、各車両がチャンネルの混雑率に応じて送信レートを変化させることで、分散的に輻輳を抑制する手法である。DCC では送信を待つパケットを保持するキューの優先度が設定されており、決定した送信レートに基づいて優先度の高いメッセージから送信を行う。しかし、DCC では CAM と DENM のブロードキャスト以外のメッセージ送信の優先度に関して考慮されていないという課題がある。本稿では、事故防止や協調走行のために有用な CPM に着目する。Thandavarayan らは DCC における CPM の送信品質を評価しており、DCC が CPM の送信を抑制することにより、周辺の物体の認識率が低下することも確認されている [1]。CPM の優先度を上昇させると物体認識率が上昇するが、CAM の送信頻度が低下するため各車両の詳細な情報が入手できないという問題が生じることから、CAM の送信頻度を十分に担保しながら CPM の送信機会を確保する必要がある。

本稿では、輻輳制御下における周辺物体の認識率の向上を目的とした CPM の優先度決定手法の検討を行う。提案手法では、物体の認識率を向上させるために、自車両の周辺における各物体に関する情報の伝達状況が不足していると判断した場合、優先度を上昇させた CPM を生成する。各物体の情報を含むメッセージの送信数によって物体を認識できる確率が変化することから、一定の時間間隔で周辺物体を認識できる可能性を上昇させるために閾値を定める。物体を検知している車両においてその物体に関する受信メッセージ数が定めた閾値を下回る場合、情報の伝達状況が不足していると判断して優先度を上昇させる。シミュ

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University,  
Yokohama, Kanagawa, 223-8522, Japan

<sup>2</sup> 慶應義塾大学理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University, Yokohama,  
Kanagawa, 223-8522, Japan

a) yamazaki@mos.ics.keio.ac.jp

b) yoshida@mos.ics.keio.ac.jp

c) murakawa@mos.ics.keio.ac.jp

d) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

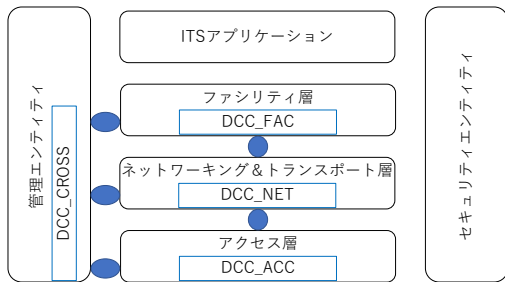


図 1 DCC のアーキテクチャ

レーション評価により DCC の性能と課題を確認する。

第 2 章にて関連研究について述べる。第 3 章にて提案手法の説明を行う。第 4 章にて DCC の性能や問題点に関してシミュレーション評価を行う。第 5 章で結論を述べる。

## 2. 関連研究

本章では自動車ネットワークにおける輻輳制御手法に関して述べる。

### 2.1 DCC

自動車ネットワークにおける代表的な輻輳制御手法として DCC[2], [3] が挙げられる。DCC は、欧州の通信分野における標準化機構である ETSI (European Telecommunications Standards Institute) により標準化された輻輳制御手法である。通常のネットワークと異なり、自動車ネットワークではノードの移動が高速であることから、集中的にノードを管理することが難しい。そのため、DCC は各車両が分散的、自律的に制御を行って輻輳を抑制することを目的としている。各車両の持つ通信機能と DCC のアーキテクチャを図 1 に示す。通信機能は、3つの層と 2つのエンティティ、アプリケーションから構成される。上記のアーキテクチャのうち、3つの層と管理エンティティ、それらをつなぐインタフェースに DCC の機能を盛り込むことが示されている。

特に、DCC\_FAC ではパケットの生成頻度制御を行い、DCC\_ACC ではパケットの送信頻度制御を行うことが検討されているが、現状では DCC\_FAC の制御部分が詳細に仕様化されていないことから、DCC\_ACC が制御部分の核となっている。DCC\_ACC では、パケットを受け取ると各パケットの優先度付けを行い、優先度に基づいて 4 種類のキューのうちのいずれかに挿入した後、制御で定めた送信頻度によって高優先度のキュー内のパケットから順に取り出してパケットを送信する。この際、送信電力制御 (TPC)、送信レート制御 (TRC)、送信データレート制御 (TDC) のうちから複数の技術を使用して制御を行うことが明示されているが、TRC のみが仕様化されていることから本稿では TRC に着目する。また、DCC は 2011 年と 2018 年に 2 つのバージョンが仕様化されているが、2011 年

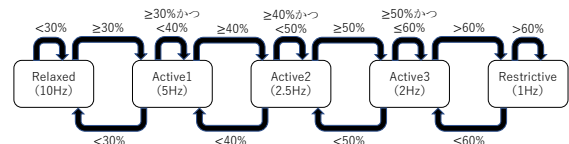


図 2 2018 年版 DCC の反応型アプローチ

版では反応型アプローチ、2018 年版では反応型アプローチに加えて適応型アプローチが明示されている。適応型アプローチは、チャンネルの状況が目標値に近づくように数式で求めた最適な送信レートで送信を行う手法である。適応型アプローチのベースは LIMERIC (Linear MESSage Rate Integrated Control) であることから、2.2 節にて後述する。一方で、反応型アプローチは、チャンネルの状況に従って状態遷移を行い、各状態に応じた送信レートで送信を行う手法である。以下では、より最新である 2018 年版の反応型アプローチに関して詳細を示す。図 2 は、2018 年版の反応型アプローチで使用されるステートマシンと遷移条件を示す。本アプローチでは、5 状態のステートマシンを遷移し、遷移の条件としてチャンネルビジー率 (CBR) を用いている。また、遷移を行うかの判断は 100 ミリ秒ごとに行われる。

次に、DCC を発展させた近年の研究を示す。Math らは、PDR-DCC を提案した [4]。PDR-DCC は、DCC\_ACC の制御部分で一定時間のパケットの総数に基づいて TDC を使用している。TDC を用いることで、高いトラフィック密度下でも高いパケット送信頻度を保つことができる一方で、車両間で不公平が生じやすいという問題がある。Lyamin らは、Age of Information (AoI) と呼ばれる同一オブジェクトに関して更新する情報の新しさを考慮した手法を提案した [5]。本手法では、目標の CBR 値に近づける中でも予想される AoI が一定値を満たすように値を調整し、決定された送信レートを反応型または適応型のアプローチに代入する。AoI を改善することにより、時間による誤差の小さい情報を得ることができる。一方で、CBR や AoI の値が目標値から外れることをどの程度まで許容することが妥当なのかの検討や計算時間の長さは課題となると考えられる。

### 2.2 LIMERIC

LIMERIC[6] は、自動車ネットワークにおける輻輳制御分野において多くの手法の先行研究となっており、適応型の代表的な手法である。本手法は、式 (1) で示される。

$$r_j(t) = (1 - \alpha)r_j(t-1) + \beta(r_g - r_c(t-1)) \quad (1)$$

ここで、 $r_j(t)$  は時刻  $t$  における車両  $j$  のチャンネル利用率、 $r_c(t)$  は時刻  $t$  におけるチャンネル全体の利用率、 $r_g$  はチャンネル全体の利用率の目標値、 $\alpha$ 、 $\beta$  は任意のパラメータである。つまり本手法では、以前の自車両のチャンネル利用率と、

チャンネルビジー率と目標値の差を一定の範囲の値にそれぞれ調整した和によって送信頻度を決定する。本手法によって、CBRの目標値への収束と高い公平性が実現されている。なお、2018年版のDCCにおける適応型アプローチでは、LIMERICとほぼ同様の定式化により送信レートを決定しているが、LIMERICと比較してパラメータ $\alpha$ 、 $\beta$ の値が変化しており、チャンネル混雑率が目標値に近い値で収束する可能性を向上させている。一方で、収束速度は低下しており、公平性の部分でも課題が生じている。

次に、適応型アプローチに関する近年の研究を示す。Sotoらは、Dual- $\alpha$ を提案した[7]、[8]。Dual- $\alpha$ は、DCCの適応型アプローチに修正を加えた手法であり、パラメータ $\alpha$ に関して大きい値と小さい値の2種類を用意し、パケットの送信状況に応じて選択することで、収束速度と目標のチャンネル混雑率に関するトレードオフを解決している。Karouiらは、DRC/ATCLを提案した[9]。DRC/ATCLは、送信データレート制御とLIMERICを組み合わせた手法であり、エンドツーエンド遅延とパケットエラー率を改善している。

### 2.3 輻輳制御手法における問題点

2.1節と2.2節にて、複数の輻輳制御手法に関して紹介した。これまで提案された輻輳制御手法において考慮されていない課題の1つが、CAMとDENM以外の多様なアプリケーションのためのメッセージに関しての扱いである。特に、どの程度の優先度で各メッセージを送信するかは、メッセージの送信頻度を大きく左右し、各アプリケーションの性能に直結するため重要だと考えられる。多様なアプリケーションのためのメッセージが存在するが、本稿では周辺状況の把握による交通事故の抑制や協調走行のために必要なCPMに焦点を当てる。CAMのみを送受信する場合と比較して、CPMを送受信することにより通信機非搭載物体の情報を送受信できる。さらに、受信車両から見て通信範囲内の車両が、通信範囲外の車両を検知してCPMで情報を送信することができるため、CPMの送受信によってより遠方の物体を認識可能になる。結果として、CPMの送受信によって周辺物体を認識する能力が向上する。Thandavarayanらは、DCCにおけるCPMの送受信品質を評価しており、CPMの優先度をCAMよりも低く設定した場合や反応型アプローチを使用した場合に、周辺物体の認識率が低下することを確認している[1]。一方で、CAMはCPMよりも各車両の詳細な情報を送信することから重要性が高い。そのため、CAMの送信頻度を可能な限り高く保ったまま、必要性の高い時にはCPMを優先して送信することが必要となる。

## 3. 提案手法の検討

本稿では、輻輳制御下における周辺物体の認識率の向上

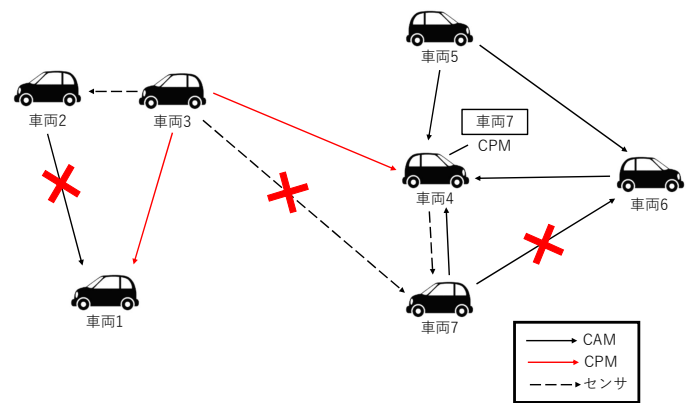


図3 システムモデル

を目的としたCPMの優先度決定手法の検討を行う。提案手法では、CAMやCPMのパケットロスによって任意の物体の情報が入手できない状態を防ぐために、送信車両が自車両の周辺における各物体に関する情報の伝達状況に応じてCPMの優先度を変化させる。各車両は、自車両のメッセージ受信状況に基づいて各物体の情報の伝達状況を判断する。センサで検知した物体に関する情報が十分に伝達されていないと判断した車両は、CPMを迅速に送信するために優先度を上昇させたCPMを生成する。

### 3.1 システムモデル

提案手法のシステムモデルを図3に示す。本提案では、DCCによって決定された送信機会に1種類のメッセージのみを送信する。図3では、車両2が送信したCAMが車両1で受信できなかった場合を想定している。一方で、車両2のことをセンサで検知している車両3が、車両2の情報を含むCPMを送信したことにより、車両1は車両2の情報を入手することが可能である。このように、パケットロスを考慮して1物体に関する情報を含むメッセージを冗長に送信することにより、物体認識率を向上させることが可能となる。冗長性を高めるためにCPMの送信機会を確保する必要があるが、同時にCAM等の他メッセージの送信機会も十分に確保する必要がある。

CPMの送信頻度を決定するため、各物体を最低限認識すべき時間間隔を定める必要がある。ETSIによって標準化されているCPMの生成規則[10]では、各車両が他車両の情報を含むCPMを最低1秒に1回生成している。そこで、本提案では任意の1物体を1秒に1回認識できることを目標とする。各車両が1秒以内に任意の1物体の情報を入手できる確率 $O$ は式(2)で表される。

$$O = 1 - a^n \quad (2)$$

ここで、 $a$ はパケットロスが発生する確率、 $n$ は1秒間で認識したい1物体に関する情報を含むメッセージが受信車両の通信範囲内から送信された回数である。図3では、認

識したい物体を車両 2, 物体情報を入手したい車両を車両 1 として, 車両 2 と 3 が 1 秒間で 1 度だけメッセージを送信した場合, 車両 2 の情報を車両 2 と 3 が送信しているため  $n$  は 2 である. 式 (2) より, パケットロスの確率が高い場合や  $n$  が 0 になる場合には, 各物体に関するメッセージを冗長に送信する必要がある. パケットロスの一因として送受信間の距離が遠いことに起因する弱電力が挙げられるため, 情報を入手したい物体との距離が大きい場合にはより冗長にメッセージを送信することで, 式 (2) における  $a^n$  を低減し, 各車両が頻繁に周辺物体の情報を入手することが担保される. また, 通信機非搭載物体は CAM や CPM を自身で送信しないことから, 全周辺車両が CAM を送信している場合に  $n$  が 0 となるため, 周辺車両が CPM を送信することによって直接センサで検知できない車両が物体を認識できる. 一方で, パケットロスの可能性があるために受信車両で正しい  $n$  を認識できるとは限らない.

### 3.2 CPM の優先度決定

本提案では, 1 物体に関するメッセージ送信の冗長性が不足していると判断した車両が高優先度の CPM を生成する. 優先度を決定するために, 物体を自車両のセンサで検知している車両  $V_s$  は, その物体の情報を入手したい車両  $V_r$  の位置等から  $V_r$  へと送信されるパケットのロス率を推定する.  $V_r$  が情報を入手できる確率を 1 に近づけるために, 推定されたロス率に基づいて式 (2) より必要な  $n$  を計算する. 計算した値を閾値として,  $V_s$  は自車両がセンサで検知している物体の情報を他車両からメッセージで受信する回数と比較する. 受信回数が閾値を下回っている場合,  $V_s$  は検知物体に関する情報の伝達が周辺で不足していると判断して高優先度 CPM を生成する. 図 3 において閾値が 2 と定められている場合, 車両 7 をセンサで検知している車両 4 は車両 7 に関する情報を車両 7 の CAM のみしか受信していないため, 高優先度 CPM を生成して迅速にブロードキャストする. その結果, 車両 6 における車両 7 に関する  $n$  が 1 から 2 へと増加するため要件を満たし, 車両 6 が車両 4 の CPM によって車両 7 を認識できる可能性が高まる. センサにより物体を認識できる車両は物体と比較的近い距離にあることが想定される. そのため, 認識したい物体に関する情報を含むメッセージを受信する可能性が比較的高い. つまり, センサで物体を認識可能な車両の受信メッセージ数が閾値を下回る場合, 周辺車両の受信メッセージ数も閾値を下回る可能性が高く, その物体に関するメッセージ送信の冗長性が不足していると判断することが可能である. 一方で, 受信回数が閾値以上である場合,  $V_s$  は次に生成する CPM の優先度を低く設定しておく. 冗長性が不足していると判断した場合以外では, CPM を CAM よりも低い優先度に設定しておくことで CAM の送信機会を担保する. DCC において, CAM は 4 段階の優先度のう

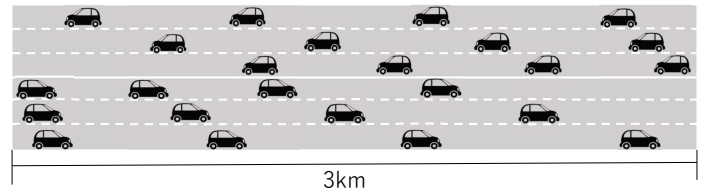


図 4 シミュレーションシナリオ

表 1 シミュレーション諸元  
パラメータ 値

パラメータ	値
通信シミュレータ	Scenargie
通信規格	IEEE 802.11p
チャンネル周波数	5.9[GHz]
チャンネル数	7
通信帯域幅	10[MHz]
シミュレーション時間	100[s]
CAM のパケットサイズ	300[Byte]
CAM の生成間隔	100[ms]
キューの保存期間	1[s]
車両流入台数	17280[台/h]
センサ数	1[個/台]
センサ検知間隔	100[ms]

ち上から 3 番目に設定されており, 本提案においても同様に設定する. 本提案において優先度を調整する際には, 通常時の CPM を最も下の優先度に設定し, 高優先度の CPM を上から 2 番目の優先度に設定する.

## 4. 評価

現在, 提案手法の検討を目的として, 自動車が輻輳制御下において行う通信に関して実装を完了している. 本稿ではシミュレーションにより DCC の性能と課題を示す. シミュレーションに用いたシナリオを図 4 に示す. 本シナリオは高速道路を想定しており, 両方向に各 3 車線で全長 3km の道路となっている. 車両はすべて自動運転車かつ通信機能を搭載しており, 1.25 秒に 1 回の間隔で道路の両端から 3 台ずつ流入する. シミュレーションには通信シミュレータ Scenargie[11] と交通流シミュレータ SUMO[12] を用いた. SUMO で生成した交通流を Scenargie でのシミュレーションに使用した. シミュレーション諸元を表 1 に示す. CPM のパケットサイズ (size) は式 (3) に基づいて決定される [1].

$$size = 121 + 35 \times sensor + 35 \times object \quad (3)$$

ここで, sensor は搭載するセンサ数, object は情報を送信するオブジェクトの数である. 情報を送信するオブジェクトとは, センサで検知したオブジェクトのうち ETSI の条件 [10] を満たすものである. 具体的には, 新しく検知したオブジェクト, 以前に検知したオブジェクトのうち以前の状態から時間や距離等が一定以上変化したオブジェクトの情報を送信する. 各車両が  $360^\circ$  で 150m 以内の範囲を検



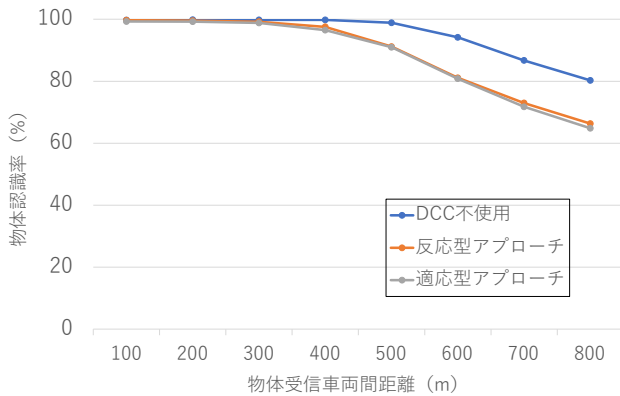


図 5 物体受信車両間距離に対する物体認識率

知できるセンサを1つ搭載していると仮定する。各車両は全長4.8m, 全幅1.7mであると仮定し, 検知車両の中心と被検知車両の中心を結ぶ直線上に車体が一部でも存在する場合は死角であるためセンサで検知できないものとする。

評価基準としてDCCの有無によるPDR (Packet Delivery Ratio), 物体認識率の変化と優先度に対するCPMの割合の変化を用いる。PDRは, 到着したメッセージのうち, 弱電力や干渉による受信失敗が発生しなかったものの割合を表す。物体認識率は, 一定範囲内に存在する物体のうち自車両が情報を保持しているものの割合を表す。CPMの割合Pは式(4)で求める。

$$P = \frac{R_{CPM} \times G_{CAM}}{R_{CAM} \times G_{CPM} + R_{CPM} \times G_{CAM}} \quad (4)$$

ここで, G, Rはそれぞれ添え字のメッセージを生成, 受信した回数である。

#### 4.1 DCCの有無による物体認識率の変化

図5は, 物体と受信車両間の距離に対する物体認識率を示す。図5より, DCCを使用している場合と比較してDCCを使用していない場合では, 物体認識率が低下する距離が大きいことが確認できる。特に, 認識範囲を500mに設定すると, DCCを使用する場合では8~10%の物体が認識されていない一方で, DCCを使用していない場合では, 約99%の物体を認識できている。これは, DCCを使用していない場合ではCPMを多く送受信しているため, 認識したい物体からのCAMが届かない場合でもその物体をセンサで検知したより近距離に存在する車両がCPMを送信することで物体を認識できていると考えられる。

図5では, 物体と受信車両間の距離が大きくなると物体認識率が低下することも確認できる。これは, 物体と受信車両間の距離が大きくなるにつれてパケット損失の機会が増加することにより, CAMやCPMによる物体情報の伝達の頻度が低下していることを示している。

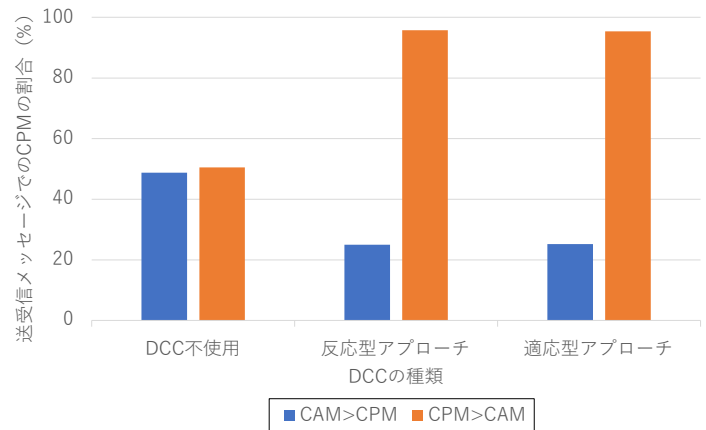


図 6 優先度に対する CPM の割合

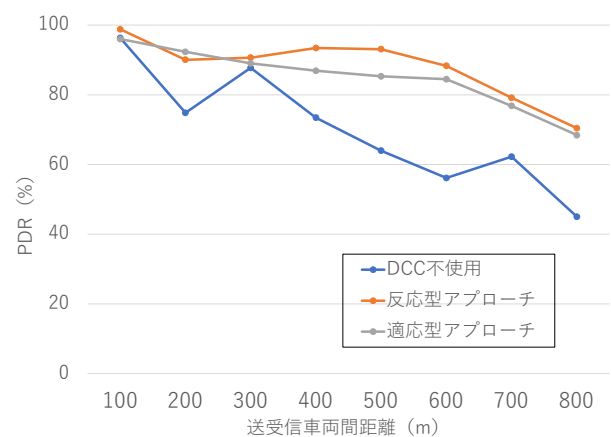


図 7 送受信間距離に対する PDR

#### 4.2 優先度に対する CPM の割合の変化

図6は, DCCのキューにおけるCAMとCPMの優先度に対するCPMの割合を示す。図6のCAM > CPMはCAMの方が優先度が高い場合, CPM > CAMはCPMの方が優先度が高い場合を示す。図6より, DCCを使用しない場合は優先度によらず送受信されるCAMとCPMがほぼ1:1であることが確認できる。一方で, DCCを使用する場合は, CPMの優先度をCAMよりも高く設定すれば送受信メッセージのうち約95%がCPMとなり, CAMよりも低く設定すれば約25%がCPMとなることが確認できる。これはDCCにおいて設定した優先度が送受信されるメッセージの割合に大きく反映されることを示す。また, 4.1節ではCPMの優先度をCAMよりも低く設定していたことから, DCCを使用しない場合では使用する場合よりもCPMの送受信数が多く, 物体認識率が高かったと考えられる。

#### 4.3 DCCの有無によるPDRの変化

図7は, CAMとCPMの送受信車両間距離に対するPDRを示す。図7より, 送受信間距離に関わらずDCC不

使用の場合の PDR が DCC を使用する場合を下回っていることが確認できる。これは DCC の使用がパケットの送信機会を低減したことにより、パケットロスが減少したことを示している。また、本評価では反応型アプローチが適応型アプローチよりも PDR を改善していることを示している。理由として、適応型アプローチにおける最適な送信レートが計算で求まる前に車両の周辺状況が変化することによって、十分な性能を発揮できていないことが考えられる。

図 7 では、送受信間距離が大きくなるにしたがって PDR が低下することも確認できる。これは、送受信間距離が大きい場合に電波の減衰によってパケットロスが発生することを示している。

## 5. おわりに

本稿では、輻輳制御下における周辺物体の認識率の向上を目的とした CPM の優先度決定手法の検討を行った。提案手法では、物体認識率を向上させるために 1 物体に関する情報を含むメッセージを冗長に送信する。冗長な送信のために CPM の送信機会を確保する必要があるが、同時に CAM の送信機会も確保する必要があるため、任意の物体の情報が交換されていないと判断した場合のみ優先度の高い CPM を生成する。各物体の情報を含むメッセージの受信数が閾値より低い場合、その物体の情報の伝達状況が不足していると判断する。シミュレーション評価により、物体と物体の情報を受信する車両の間の距離が大きい場合に DCC の使用が物体認識率を低下させることを確認した。また、DCC において CPM を CAM より高い優先度に設定した場合は、DCC を使用しない場合と比較して送受信するメッセージにおける CPM の割合が上昇し、低い優先度に設定した場合は、CPM の割合が低下することを確認した。最後に、DCC の使用が PDR を上昇させることを確認した。

今後は、物体情報の伝達状況を判断する閾値の決定に関して検討を行う予定である。また、高優先度 CPM の生成によって一部車両のみが CAM の送信機会を減少させることから、公平性が課題となることが想定される。そのため、CAM の送信機会も調整することにより公平性を改善する手法に関して検討を行う予定である。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP20H04180 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] G. Thandavarayan, M. Sepulcre and J. Gozalvez, "Cooperative Perception for Connected and Automated Vehicles: Evaluation and Impact of Congestion Control," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 197665-197683, 2020.
- [2] ETSI, TS102687V1.1.1, "Intelligent transport systems

- (ITS); decentralized congestion control mechanisms for intelligent transport systems operating in the 5ghz range; access layer part," July 2011.
- [3] ETSI, TS102687V1.2.1, "Intelligent transport systems (ITS); decentralized congestion control mechanisms for intelligent transport systems operating in the 5ghz range; access layer part," April 2018.
- [4] C. B. Math, H. Li, S. H. de. Groot and I. Niemegeers, "Fair decentralized data-rate congestion control for V2V communications," 2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT), Limassol, pp. 1-7, 2017.
- [5] N. Lyamin, B. Bellalta and A. Vinel, "Age-of-Information-Aware Decentralized Congestion Control in VANETs," *IEEE Networking Letters*, vol. 2, no. 1, pp. 33-37, March 2020.
- [6] G. Bansal, J. B. Kenney and C. E. Rohrs, "LIMERIC: A Linear Adaptive Message Rate Algorithm for DSRC Congestion Control," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 9, pp. 4182-4197, November 2013.
- [7] I. Soto, O. Amador, M. Uruña and M. Calderón, "Strengths and Weaknesses of the ETSI Adaptive DCC Algorithm: A Proposal for Improvement," *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 5, pp. 802-805, May 2019.
- [8] O. Amador, I. Soto, M. Calderón and M. Uruña, "Experimental Evaluation of the ETSI DCC Adaptive Approach and Related Algorithms," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 49798-49811, 2020.
- [9] M. Karoui, G. Chalhoub and A. Freitas, "A study of congestion control approaches for vehicular communications using ITS-G5," 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, London, United Kingdom, pp. 1-7, 2020.
- [10] ETSI, TR103562V2.1.1, "Intelligent transport systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2," December 2019.
- [11] 大和田泰伯, 前野誉, 金田茂, 久永良介, 高井峰生, "Scenargie を用いた its シミュレーション," マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.233-234, Dec 2008.
- [12] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch, and L. Bieker, "Recent development and applications of SUMO-Simulation of Urban MObility," *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, vol. 5, pp. 128-138, December 2012.